

Übersetzung von A. K. T. Assis und M. C. D. Neves, „The redshift revisited“, Astrophysics and Space Science **227**, Seiten 13-24, 1995.

Übersetzung aus dem Englischen (2013):

Dr. Manfred Pohl, Germany

E-Mail: unipohl@aol.com

Netz: www.unipohl.de

DIE ROTVERSCHIEBUNG, NEU BEWERTET

A. K. T. ASSIS*

Instituto de Física ‘Gleb Wataghin’

Universidade Estadual de Campinas, Unicamp

13083-859, Campinas, Sao Paulo, Brasil

und

M. C. D. NEVES

Physics Department

State University of Maringá

87020-900 Maringá, PR, Brazil

Kurzbeschreibung. Wir analysieren die Geschichte der modernen Kosmologie, basierend auf dem Phänomen der Rotverschiebung und auf der kosmischen Hintergrundstrahlung (CBR). Wir zeigen die Modelle verschiedener Autoren zur Interpretation der Rotverschiebung und wie die Modelle der Lichtermüdung den richtigen Temperaturwert von 2,7 K vor Gamow und seiner Mitarbeiter vorhersagen.

Schlüsselwörter: Kosmologie, kosmologische Rotverschiebung, Geschichte der Kosmologie, kosmische Hintergrundstrahlung.

* Arbeitet auch als Professor am Institut für Angewandte Mathematik, IMECC, State University of Campinas, 13081-859 Campinas, SP, Brasilien.

1 Einleitung

Der Ursprung der Rotverschiebung von stellaren Quellen, Galaxien und Quasaren ist eine lange Zeit diskutiert worden. Der Großteil der Arbeiten zu diesem Thema interpretiert das Phänomen der Rotverschiebung als Doppler-Effekt, was mit der Wegbewegung (Rezession) der Quellen (hauptsächlich Galaxien) verbunden ist. Diese Interpretation führt direkt zur Idee des Urknalls, da die meisten Galaxien eine Rotverschiebung zeigen, und nur einige von ihnen, die sich in der Nähe befinden, zeigen eine Blauverschiebung.

In diesem Artikel werden wir Ideen in einigen neueren Arbeiten (Reber, 1986; Arp, 1987; Assis, 1992) diskutieren, die eine alternative Interpretation präsentieren, welche ebenfalls im Einklang mit den Daten steht. Darüber hinaus fertigen wir eine historische Analyse des Themas an, mit der die gegensätzlichen Stimmen des Paradigmas des Urknalls gezeigt werden.

2 Verschiedene Ansichten der Geschichte der modernen Kosmologie

In seinem interessanten Artikel „Wie die Kosmologie zur Wissenschaft wurde“, beschreibt Stephen G. Brush eine historische Analyse der beiden Modelle der modernen Kosmologie: Die Urknalltheorie und die Steady-State-Theorie von Hoyle, Narlikar und Gould, (Brush, 1992). Ihm zufolge war die Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung, die CBR, im Jahre 1965, der entscheidende Faktor für die Bevorzugung des Urknalls als Standard-Modell der Kosmologie gegen die Steady-State-Theorie. Das CBR-Spektrum wurde als Äquivalent zum Strahlungsspektrum eines schwarzen Körpers mit einer charakteristischen Temperatur von 2,7 K angesehen. Da die Steady-State-Theorie eine solche Temperatur nicht vorhersagt, während der Urknall dies tat, entschied diese Entdeckung die Frage zugunsten des Urknalls, so Brush.

Die Hauptfiguren in Brush's Geschichte sind Gamow und seine Mitarbeiter Alpher und Herman, die den korrekten Wert der Temperatur des kosmischen Raumes vor der Entdeckung von Penzias und Wilson vorhergesagt hatten. Er erwähnt kurz die Arbeit von A. Eddington, geschrieben 1926, in der er die Temperatur des interstellaren Raumes mit 3,2 K bestätigt (Eddington, 1988a). Obwohl Eddingtons Arbeit viel früher entstand als Gamows Schätzungen in der Periode 1949 bis 1961, gibt es ein Problem, zumindest nach Brush: „Eddington hat kein besonderes Verfahren für die Prüfung seiner Vorhersage vorgeschlagen.“ Weiter unten werden wir auf diesen Punkt zurückkommen.

Außer Eddingtons Arbeiten und den Werken von Gamow und Mitarbeitern sowie denen von Dicke und Hoyle, berücksichtigt Brush nur die Arbeit von Andrew Mackellar, die das Niveau der Erregung des Cyan-Moleküls (CN) im intergalaktischen Raum benutzt, um die Temperatur des intergalaktischen Mediums zu bewerten. In dieser bemerkenswerten Arbeit erhielt er den Wert von 2,3 K im Jahre 1941, ohne einen Urknall zu anzunehmen.

Wir heben Brush's Arbeit hier nicht nur wegen seiner Bedeutung auf dem Gebiet der Geschichte der modernen Kosmologie hervor, sondern auch wegen seiner Auswirkungen auf die öffentliche Wahrnehmung; z. B. wurden seine Artikel im *Scientific American* veröffentlicht. Aber seine Arbeit ist ähnlich den Darstellungen, die in fast allen Lehrbüchern zu diesem Thema zu finden sind. Die Arbeit beschreibt in erster Linie die Entwicklung der Geschichte der kosmischen Hintergrundstrahlung, die in der Regel von den meisten Autoren vernachlässigt wird.

3 Eine Steady-State-Theorie ohne Expansion und ohne ständige Erschaffung von Materie

Brush's Arbeit und die Arbeit der meisten Kosmologen vergleichen in der Regel nur zwei Modelle des Universums: Das Urknall-Modell und die Steady-State-Theorie von Hoyle, Bondi und Gold. Diese beiden Modelle haben einen wichtigen Aspekt gemeinsam: Beide erkennen die Interpretation der kosmologischen Rotverschiebung als Doppler-Effekt an. Das heißt, beide Theorien akzeptieren die Expansion des Universums ohne weitere Fragen. Aber es gibt ein drittes Modell des Universums, das in diesem Jahrhundert von Wissenschaftlern wie Regener, Nernst (der Vater des dritten Hauptsatzes der Thermodynamik), Finlay-Freundlich, dem Nobelpreisträger Max Born und Louis de Broglie entwickelt wurde. Leider wird dieses dritte Modell in den Lehrbüchern fast immer vernachlässigt und ist den

heutigen Physikern und Astrophysikern nahezu unbekannt. Es ist die Arbeit der oben genannten Honoratioren, die wir retten wollen.

Das von diesen Autoren entwickelte Modell hat eine Interpretation der kosmologischen Rotverschiebung gemeinsam, nämlich als eine Art Interaktion des Photons auf seiner Reise von einer fernen Galaxie zur Erde. Diese Erklärungen werden in der Regel „Lichtermüdungstheorien“ genannt. Was generell unbeachtet bleibt ist, daß diese Autoren den korrekten Wert der Temperatur-Charakteristik des CBR vor den Werken von Gamow und seiner Mitarbeiter vorhergesagt haben. Dies bedeutet, daß die Entdeckung von Penzias und Wilson nicht entscheidend zugunsten des Urknalls ausgelegt werden kann, weil ein alternatives Modell auch den richtigen Wert der Temperatur vorhergesagt hatte.

Lassen Sie uns zunächst zu Eddingtons Buch von 1926 zurückkehren (Eddington, 1988a). Der bemerkenswerteste Aspekt der Temperatur des interstellaren Raum als 3,2 K ist, daß es durch war, nach ihm, das gesamte Strahlungsfeld, das von den stellaren Quellen ausgesendet wird, mit der einfallenden Strahlung ausgeglichen ist und von ihnen absorbiert wird. Dies ist typisch für eine Gleichgewichts-Situation. Darüber hinaus verwendet er das Stephan-Boltzmann-Gesetz, nach dem der gesamte durch einen schwarzen Körper emittierte Fluss F gegeben ist durch

$$F = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

worin σ die Stephan-Boltzmann-Konstante ist ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

Später ändert Eddington seine kosmologischen Ansichten und akzeptiert die Idee eines sich ausdehnenden Universums (er selbst schrieb das Buch *Das expandierende Universum* im Jahre 1933 (Eddington, 1988b)). Jedoch zumindest seine Vorhersage einer Temperatur von 3,2 K von 1926 basierte nicht auf einem expandierenden Universum.

Diese Anwendung des Stephan-Boltzmann-Gesetzes, die für ein Schwarzkörperspektrum charakteristisch ist, ist ein extrem wichtiges Element in den Werken von Regener, Nernst und Finlay-Freundlich.

Im Jahr 1933 schrieb Regener (Regener, 1933) beim Analysieren der Energie der kosmischen Strahlung, die auf der Erde ankommt:

Ein Himmelskörper, der die zur Absorption der Ultrastrahlung notwendige Dimension hat (...) wird sich durch die Ultrastrahlung erwärmen. Die Erwärmung wird proportional der zugestrahlten Ultrastrahlungsenergie S_U und der Oberfläche O sein. Er wird sich so lange erwärmen, bis die emittierte Wärmestrahlung, bei schwarzer Strahlung also $= \sigma \cdot T^4 \cdot O$, ebenso groß geworden ist. Es ergibt sich die Endtemperatur $T = \sqrt[4]{S_U / \sigma}$. Das gibt nach Einsetzung der Zahlenwerte 2.8 K.

Nach dieser Arbeit präsentiert Nernst im Jahre 1937 einen bemerkenswerten Artikel (Nernst, 1937). Nernst glaubte an ein stationäres Universum. Unter Bezugnahme auf die Arbeit Regeners kommentierte er:

In der soeben erwähnten wichtigen Arbeit von Regener findet sich die Angabe, daß im Universum ein die Kosmische Strahlung absorbierender Körper sich bis auf 2.8° abs. erwärmen müßte.

Nernst befürwortet unter Verwendung Regeners Arbeit das Modell eines grenzenlosen Universums, homogen in großem Maßstab und ohne Expansion. Er schlug eine Gleichung vor, um die Lichtabsorption durch kosmischen Staub oder etwas ähnliches als eine Verringerung des Lichtenergiequantums zu erklären, was zur Rötung der Photonen führt:

$$-d(h\nu) = H(h\nu)dt \quad (2)$$

worin h das Plancksche Wirkungsquantum ($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$), ν die Lichtfrequenz und H Hubble-Konstante ist. Eine seiner Schlußfolgerungen in diesem Artikel ist, daß die kosmologische Rotverschiebung nicht durch einen Doppler-Effekt entsteht.

Im Jahre 1954 diskutiert Finlay-Freundlich die Rotverschiebung der Spektrallinien von B-Sternen und O-Sternen aus der Orion-Nebel-Gruppe (Finlay-Freundlich, 1954). Er analysierte den Einfluß des Schwerkraftpotentials auf die Ergebnisse der beobachteten Rotverschiebung. Er faßte seine Ergebnisse der B-Sterne zusammen, indem er feststellt:

Die B-Sterne im Orion-Nebel zeigen eine systematische Rotverschiebung relativ zu den Linien im Nebel in Höhe von mindestens +10 km/s. Dieser Wert ist um einen Faktor in der Größenordnung von zehn größer als durch die Relativitätstheorie vorhergesagte Rotverschiebung.

Freundlich hat für O-Sterne herausgefunden, daß die Rotverschiebung etwa +18 km/s erreicht. Bei der Analyse zweistelliger Anzahlen von Sternsystemen hat er Rotverschiebungen gefunden, die um einen Faktor von 10 bis 20 größer als die von der Allgemeinen Relativitätstheorie (Gravitations-Rotverschiebung) vorhergesagten waren. Er sagt über diese Tatsache:

Es ist ziemlich unwahrscheinlich, daß sie durch eine systematische Bewegung der Sterne der Orion-Nebel-Gruppe gegenüber dem Nebel selbst erzeugt werden, oder durch eine systematische Bewegung der O-Sterne relativ zu den B-Sternen im selben Cluster. (...) Wir sehen also, daß die großen Rotverschiebungen einen physikalischen Effekt offenbaren, der weder als Schwerkraft-Verschiebung noch als echte Wegbewegung interpretiert werden kann.

Zum Versuch, die beobachtete Rotverschiebung zu erklären, schlägt Freundlich eine interessante Hypothese vor:

Ich schlage vor, als weitere Hypothese einzuführen, daß Licht, das durch tiefe Schichten eines intensiven Strahlungsfeldes durchquert, Energie verliert – vielleicht wegen Photon-Photon-Wechselwirkungen – und daß der Energieverlust proportional sowohl zu der Dichte des Strahlungsfeldes als auch zur Weglänge des Lichts durch das Strahlungsfeld ist.

Freundlich schreibt deshalb eine empirische Formel, um diese Rotverschiebung zu erklären:

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = -AT^4 \ell \quad (3)$$

worin $\Delta \nu$ die Frequenzänderung des Lichts, ν seine ursprüngliche Frequenz, A eine Konstante, T die Temperatur des Strahlungsfeldes und ℓ die Weglänge des Lichtes durch das Strahlungsfeld ist. Die Konstante A erhält man, wenn man $\ell = 10^7 \text{ cm}$ setzt, $\Delta \nu / \nu = -3,3 \times 10^{-5}$ ist, und $T = 20.000 \text{ K}$ als Temperatur für einen B-Stern angenommen wird. Daraus wird der Wert für $A = 2 \times 10^{-29} \text{ K}^{-4} \text{ cm}^{-1}$.

Freundlich wendet seine Formel zur Erklärung der Rotverschiebung der Sonne, von A-Sternen, übergroßen M-Sternen, Wolf-Rayet-Sternen und weißen Zwergen mit großem Erfolg an.

Mit diesen Ergebnissen vergleicht Freundlich die kosmologische Rotverschiebung und stellaren Rotverschiebungen (z. B. B-Sterne). Dann wendete er seine Formel auf die kosmologische Rotverschiebung an. In seiner Analyse leitet Freundlich eine Schwarzkörpertemperatur für den intergalaktischen Raum ab. Die beiden durch Freundlichs Formel abgeleiteten Randwerte für die mittlere Temperatur des intergalaktischen Raumes waren $T = 1,9 \text{ K}$ und $T = 6,0 \text{ K}$.

Finlay-Freundlich schloß seinen Artikel, indem er schrieb:

Wir können uns deshalb vorstellen, daß die kosmologische Rotverschiebung nicht aufgrund eines expandierenden Universums entsteht, sondern durch einen Energieverlust, den das Licht auf den immensen Längen der Raumdurchquerung von den weit entfernten Sternsystemen

erfährt. Daß der intergalaktische Raum nicht völlig leer ist, wird von Stebbins's und Whitfords Entdeckung (1948) gezeigt, nach der die kosmologische Rotverschiebung durch eine zusätzliche unerklärliche Rötung begleitet wird. So muß das Licht irgendeiner Art Wechselwirkung mit Materie und Strahlung im intergalaktischen Raum ausgesetzt sein.

4 Gamows unterschiedliche Vorhersagen der Temperatur der CBR

In seiner Arbeit bezieht sich Finlay-Freundlich auf Gamows Temperatur von 7 K aus dem Jahr 1953, ein Wert, der aus thermodynamischen Überlegungen als mittlere Temperatur des intergalaktischen Raumes ermittelt wurde. Freundlich erwähnt nicht Alpers und Hermanns Arbeit aus dem Jahre 1949 (Alpher und Hermann, 1949). Diese Autoren, Mitarbeiter von Gamow, schrieben:

(die vorliegende Strahlungsdichte, $\rho_r \cong 10^{-32} \text{ g/cm}^3$) entspricht nun einer Temperatur in der Größenordnung von 5°K. Diese mittlere Temperatur für das Universum ist als Hintergrundtemperatur zu interpretieren, die sich allein von der universellen Expansion ableiten würde. Allerdings würde die thermische Energie aus der Erzeugung von Kernenergie in den Sternen diesen Wert erhöhen.

So sollte nach diesen Autoren die Temperaturcharakteristik dieser Strahlung **bei mindestens 5 K liegen**.

Im Jahre 1961 veröffentlichte Gamow eine überarbeitete Auflage seines populärwissenschaftlichen Buches *Die Erschaffung des Universums* (Gamow, 1961). Dies ist das letzte uns bekannte Werk Gamows, in dem er die Temperatur des interstellaren Raum vor der Entdeckung der CBR von Penzias und Wilson im Jahr 1965 diskutiert. Es gibt nur eine Stelle im Buch, an der er die Temperatur der CBR erwähnt. Hier das vollständige Zitat dieses wichtigen Paragraphen (unsere Hervorhebung):

Die zuvor erklärte Beziehung zwischen dem Wert der Hubble-Konstanten und der mittleren Dichte des Universums ermöglicht uns, daraus einen einfachen Ausdruck für die Temperatur anzugeben, die während der frühen Stadien der Expansion als Funktion der Zeit ab dem Zeitpunkt der maximalen Kompression vorlag. Beim Einsetzen der Zeit in Sekunden und der Temperatur in Grad (siehe Anhang, Seiten 142-43), haben wir:

$$\text{Temperatur} = \frac{1,5 \times 10^{10}}{[\text{Zeit}]^{1/2}}$$

So wären, als das Universum 1 Sekunde alt, 1 Jahr alt und 1 Millionen Jahre alt war, war, seine Temperaturen entsprechend 15 Milliarden, 3 Millionen, und 3000 Grad absolute. Beim Einsetzen des gegenwärtigen Alters des Universums ($t = 10^{17}$ sec) in diese Formel finden wir

$$T_{\text{present}} = 50 \text{ Grad absolute,}$$

das ist in guter Übereinstimmung mit der tatsächlichen Temperatur des interstellaren Raumes. Ja, unser Universum brauchte etwas Zeit, um von der glühenden Hitze seiner frühen Tagen zur eisigen Kälte von heute zu gelangen!

Während die Theorie einen exakten Ausdruck für die Temperatur im expandierenden Universum liefert, führt sie für die Dichte der Materie nur zu einem Ausdruck mit einem unbekanntem Faktor, in der Tat, man kann beweisen (siehe Anhang), daß

$$[\text{Dichte der Materie}] = \text{konstant} / [\text{Zeit}]^{3/2}$$

Wir sehen in Kapitel III, daß der Wert dieser Konstanten aus der Theorie des Ursprungs von atomaren Strukturen abgeleitet werden kann.

Dieser Wert von 50 K unterscheidet sich offensichtlich sehr von dem durch Penzias und Wilson 1965 ermittelten, nämlich $T = 3,5 \pm 1,0 \text{ K}$, (Penzias und Wilson, 1965). Eine Kurve der Schätzungen der Temperatur des kosmischen Raumes von Jahr zu Jahr von Gamow und Mitarbeitern weicht stark vom Wert ab, der abschließend im Jahre 1965 gemessen wurde. In Abbildung 1 zeichnen wir in

chronologischer Reihenfolge die Vorhersagen, die auf einem nicht expandierenden Universum nach Eddington, Regener, Nernst Basis und Finlay-Freundlich basieren.

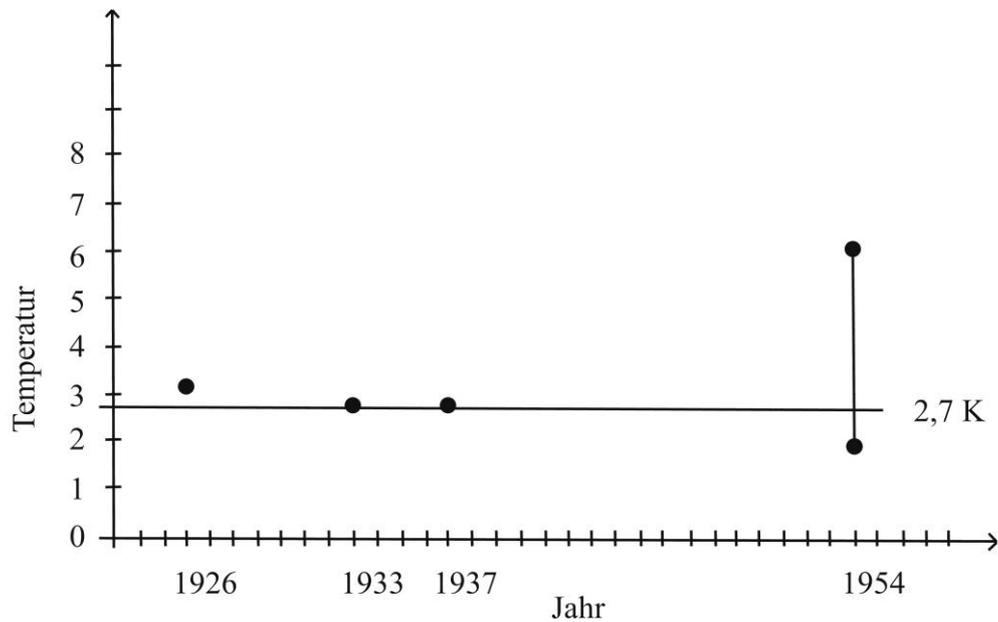


Abbildung 1. Vorhersagen der Temperatur der CBR, basierend auf einem Universum im dynamischen Gleichgewicht ohne Expansion (kurz stationäres Universum genannt): Eddington 1933 [siehe Eddington 1988] ($T = 3,2$ K); Regener, 1933 ($T = 2,8$ K); Nernst, 1937 ($T = 2,8$ K) und Finlay-Freundlich, 1954 ($1,9$ K $\leq T \leq 6,0$ K). Der bekannte Beobachtungswert von 2,7 K wird ebenfalls angezeigt.

In Abbildung 2 zeigen wir in chronologischer Reihenfolge die Vorhersagen der Temperatur der CBR nach Gamow und Mitarbeitern.

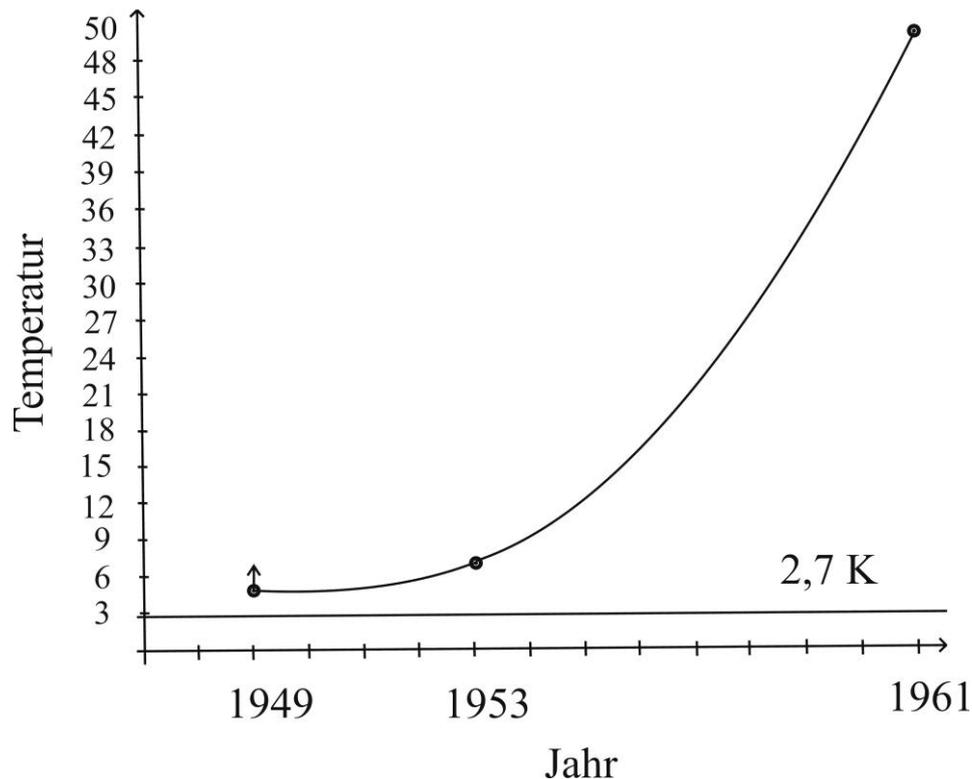


Abbildung 2. Vorhersagen der aktuellen Temperaturwerte der der CBR nach Gamow und Mitarbeitern (1949: $T \geq 5$ K, 1953: $T = 7$ K, 1961: $T = 50$ K). Es ist auch der bekannte Beobachtungswert von 2,7 K dargestellt.

Diese Daten wurden in der Tabelle 1 angegeben.

TABELLE 1

Vorhersagen der Temperatur der CBR bezogen auf verschiedene Modelle des Universums und auf verschiedene Autoren.

Jahr	stationäres Universum	Urknall	Temperatur
1926	Eddington		3,2 K
1933	Regener		2,8 K
1937	Nernst		2,8 K
1949		Alpher und Hermann	$T \geq 5$ K
1953		Gamow	7 K
1954	Finlay-Freundlich		$1,9 \text{ K} \leq T \leq 6,0 \text{ K}$
1961		Gamow	50 K

Es ist wichtig, an einen Brief von Gamow zu erinnern, den er im Jahre 1965 an Arno Penzias gesendet hatte (merkwürdigerweise wurde er auf 1963 datiert). Dieser Brief wurde in Penzias's Artikel mit dem Titel „Kosmologie und Mikrowellenastronomie“ (Penzias, 1972) wiedergegeben. Wir geben ihn hier wieder:

„29. September 1963

Sehr geehrter Herr Dr. Penzias,

vielen Dank für die Zusendung Ihrer Arbeit zur 3-K-Strahlung. Sie ist sehr schön geschrieben, außer daß die „frühere Geschichte“ nicht eben „sehr vollständig“ ist. Die Theorie des, wie jetzt bekannt ist, „Ur-Feuerballs“, wurde zuerst von mir im Jahre 1946 entwickelt (Phys. Rev. 70,

572, 1946; 74, 505, 1948; Nature 162, 680, 1948). Die Vorhersage des numerischen Wertes der vorliegenden (Rest-) Temperatur könnte in Alpher & Hermanns Arbeit gefunden werden (Phys. Rev. 75, 1093, 1949), in der sie mit 5 K geschätzt wurde, und in meiner Arbeit (KongDansk. Ved. Sels 27 N° 10, 1953) mit der Schätzung von 7 K. Auch in meinem populärwissenschaftlichen Buch „Die Erschaffung des Universums“ (Viking 1952) können Sie (auf Seite 42) die Formel $T = 1,5 \times 10^{10} / t^{1/2} K$, und die Obergrenze von 50 K finden. Sie sehen also, daß die Welt nicht mit dem allmächtigen Dicke begonnen hat.

Mit freundlichen Grüßen,

G. Gamow“

Dieser Brief, wie wir gesehen haben, entspricht nicht den Tatsachen. Gamow berechnet in der überarbeiteten Auflage seines Buches von 1952, veröffentlicht im Jahr 1961, eine Temperatur **gleich 50 K**. Also hat Gamow in dieser Arbeit **eine Obergrenze von 50 K** nicht geschätzt.

Die Chronologie der Vorhersagen der Temperatur des CBR stellt eine andere Geschichte vor, als sie in kosmologischen Lehrbüchern und in Artikeln über Kosmologie dargestellt ist.

In diesem Zusammenhang zitieren wir einen anderen Teil von Penzias's Arbeit, (Penzias, 1972):

Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, die verschiedenen theoretischen Erklärungen der 3 K zu bewerten. Doch der einzige Anspruch der Theorie des heißen expandierenden Universum ist, daß die Hintergrundstrahlung vorhergesagt wurde, bevor sie gefunden wurde. Am 4. „Texas“-Symposium für relativistische Astrophysik war George Gamow der Vorsitzende der Sitzung für Mikrowellen-Hintergrundstrahlung. Er beendete seine Ausführungen mit einem Kommentar, der zu meinen besten Erinnerungen zählt: „Wenn ich einen Fünfer [nickel] verliere und irgend jemand findet einen Fünfer, kann nicht beweisen, daß es mein Fünfer ist. Doch ich habe einen Fünfer gerade dort verloren, wo sie einen gefunden haben.“ Der Applaus war laut und lang.

In der Tat, Gamow verlor nicht nur eine einzige Münze, sondern viele von ihnen. Darüber hinaus waren diese Münzen unterschiedlicher Werte in einem divergenten Reihen relativ zu den richtigen Wert zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt. Es ist umso bemerkenswerter, dass andere Menschen hatte nickeis viel näher an, wo sie später als verloren und zu einem früheren Zeitpunkt als Gamow!

5 Diskussion und Schlußfolgerung

Zwei weitere wichtige Autoren zum Thema eines nicht expandierenden Universums sind Max Born (Born, 1954) und Louis de Broglie, (de Broglie, 1966). Max Born zeigte, daß die Theorie von Finlay-Freundlich (Photon-Photon-Kollisionen als Ursache der Rotverschiebung) wissenschaftlich fundiert war. Bei der Diskussion über die kosmologische Rotverschiebung in dieser Arbeit machte Max Born eine bemerkenswerte Vorhersage: „Also ist die Rotverschiebung mit der Radioastronomie verbunden.“ Dies wurde 11 Jahre vor der Entdeckung der CBR von Penzias und Wilson (Penzias und Wilson, 1965) unter Verwendung einer Hornstrahler-Antenne, die für das Studium der Radioastronomie gebaut wurde, geschrieben.

Trotz dieser Tatsache hat Max Born nach unserem besten Wissen nie erklärt, daß er nicht an ein expandierendes Universums glaubte, er hat sich mit der Urknall-Theorie überhaupt nicht wohlgeföhlt, wie die folgenden Zitate aus seinem Buch *Einsteins Relativitätstheorie* (Born, 1962) zeigen:

Der Leser kann den Eindruck bekommen, daß sich die moderne Kosmologie auf grundsätzlich empirischem Weg in eine Wildnis verirrt hat, in der man Erklärungen ohne Ängste vor Beobachtungsdaten abgeben kann. In der Tat kann dies alles von den Theorien nur skizziert ausgesagt werden, zumal die gemischten Geföhle der Bewunderung und der leichten Empörung, die sie hervorbringen, durch die fast fanatische Sicherheit bestärkt werden, mit der sie von ihren Autoren angekündigt werden. Es ist bedauerlich aber allzu natürlich, daß dieser Sachverhalt in verschiedenen Ideologien verwendet wird, um eine dieser Theorien als Bestätigung ihres Dogmas zu beanspruchen und die anderen zu verbannen. (Born, 1962), Seite 369.

Ansichten dieser Art, die als Dogma verkündet werden, sind dem Geist der Wissenschaft fremd, und jede von ihnen kann widerlegt werden, indem man zeigt, daß in diesen Darstellungen nicht alle Aspekte berücksichtigt werden. Diejenigen, die die Idee von einem „Anfang“ billigen, vergessen, daß alles, was man mit Sicherheit sagen kann, ist, daß sich dieser Zustand hoher Dichte der Materie deutlich von der uns bekannten Sternenkonstellation unterscheidet, man kann bezweifeln, daß in diesem Zustand die Begriffe Raum und Zeit gelten, weil diese Begriffe eng mit dem diskreten System von Sternen zusammenhängen. Der „Anfang“ reflektiert nur unser Vorstellungsvermögen, den Stand der Dinge in Bezug auf die uns gewohnten Konzepte zu beschreiben. Ob es eine Schöpfung aus dem Nichts gibt, ist keine wissenschaftliche Frage, sondern eine Frage des Glaubens und ist jenseits der Erfahrung, wie die alten Philosophen und Theologen wie Thomas von Aquin wußten. (Born, 1962), Seite 369.

Louis de Broglie erklärt eine „Photonen-Alterung“ aufgrund eines kontinuierlichen Verlustes von Energie durch das Photon. Eine detailliertere Diskussion über diese beiden Autoren finden sich in (Assis, 1992) und (Assis, 1993).

In dieser Arbeit haben wir eine andere Sicht auf die Geschichte der Kosmologie gegeben, eine, die sehr verschieden von der von Brush dargestellten ist. Wir haben die Tatsache, hervorgehoben, daß es eine große Anzahl von Studien einer Reihe bedeutender Physiker gibt, die kritisch zum Doppler-Effekt als Erklärung der kosmischen Rotverschiebung steht. Es sollte auch betont werden, daß es zahlreiche Arbeiten zum Thema anomale Rotverschiebungs-Beobachtungen gibt (siehe z. B. (Reboul, 1981), daselbst eine Liste von 772 nichttrivialen Rotverschiebungen). Anomale Rotverschiebungen können nicht einfach durch das Doppler-Modell erklärt werden. Aber wenn die Rotverschiebung nicht auf dem Doppler-Effekt beruht, was ist dann ihr Ursprung?

Finlay-Freundlich glaubte an eine Photon-Photon-Wechselwirkung in den starken Strahlungsfeldern der Sterne. Marmet glaubt an eine Rotverschiebung, die durch unelastische Kollisionen von Photonen mit Atomen und Molekülen entsteht. Reber und Kierein wiesen auf den Compton-Effekt (Wechselwirkung Photon-Elektron) hin. Vigier und Monti schlagen den Widerstand des intergalaktischen Mediums vor. Arp glaubt an einen Effekt aufgrund des Alters der Himmelskörper. Für weitere Diskussion dieser Modelle und für Hinweise, siehe (Assis, 1992) und (Assis, 1993).

In Bezug auf den Compton-Effekt (Streuung von Photonen an freien Elektronen), ist bekannt, daß die Änderung der Wellenlänge gegeben ist durch:

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta) , \quad (4)$$

worin λ die gestreute Wellenlänge des Photons ist, λ_0 die einfallende Wellenlänge, h die Plancksche Konstante, m die Masse des Elektrons, c die Lichtgeschwindigkeit und θ der Winkel zwischen einfallendem und gestreutem Photon.

Wenn folglich die kosmologische Rotverschiebung aufgrund des Compton-Effekts entsteht, würden wir für jede Interaktion folgenden Betrag der Rotverschiebung haben:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta) . \quad (5)$$

Die Konstanten h , m und c hängen nicht von λ ab. Damit sind wir zu dem Schluß gekommen, daß sich die kosmologische Rotverschiebung mit $1/\lambda$ maßstabieren sollte, aber dies wird nicht beobachtet. In der Tat scheint die Hubblekonstante unabhängig von der Wellenlänge zu sein. Es scheint daher unwahrscheinlich, daß die kosmologische Rotverschiebung aufgrund des Compton-Effekts entsteht.

Was ist der eigentliche Mechanismus, der die beobachteten Werte für die Rotverschiebung erzeugt? Diese Frage ist auch weiterhin ein großes Geheimnis. Eine mögliche Antwort könnte in der Zukunft von einem stationären Modell des Universums entstehen.

Wir schließen diesen Artikel mit drei Zitaten von Hubble, die bei Reber (Reber, 1986) gefunden werden:

“Licht kann Energie während seiner Reise durch den Raum verlieren, aber wenn das so ist, wir wissen noch nicht, wie der Energieverlust erklärt werden kann.“

“Die störenden Merkmale sind alle mit dem Expansionsfaktor eingebracht, durch die Annahme, daß die Rotverschiebungen Geschwindigkeits-Verschiebungen sind. Die Abkehr vom linearen Gesetz der Rotverschiebungen, die Abkehr von der gleichmäßigen Verteilung, die Raumkrümmung, die zur Wiederherstellung der Homogenität notwendig ist, die überschüssige Materie, die wegen der Raumkrümmung notwendig ist, jedes davon ist nur der Expansionsfaktor in einer anderen Form. Diese Elemente identifizieren ein einziges Modell aus der Auswahl möglicher expandierender Welten, und in diesem Modell ist die Begrenzung der Zeit-Skala, die Beschränkung der räumlichen Dimensionen, die Menge an nicht bestätigter Materie, jedes ein Äquivalent zum Expansionsfaktor.

Andererseits, wenn man den Expansionsfaktor fallen läßt, wenn Rotverschiebungen nicht primär Geschwindigkeits-Verschiebungen sind, ist das Bild einfach und plausibel. Es gibt keinen Beweis für die Expansion und keinen für die Begrenzung der Zeit-Skala, keine Spur für die Raumkrümmung und keinen Beweis für die Begrenzung der Raumdimensionen.“

„Wir haben ganz augenscheinlich wie schon einmal in den Tagen des Kopernikus die Wahl zwischen einem kleinen, endlichen Universum, und einem unendlich großen Universum Plus einem neuen Prinzip der Natur“.

6 Danksagungen

A . K. T. Assis möchte FAPESP, FAEP und CNPq (Brasilien) für die finanzielle Unterstützung in den vergangenen Jahren danken. M. C. D. Neves wünscht, DFI, PPG (State University of Maringá) und das Organisationskomitee des Zweiten IEEE International Workshop für Astrophysik und Kosmologie für die finanzielle Unterstützung zu danken. Die Autoren danken Prof. Emil Wolf für wichtige Anregungen in Bezug auf die erste Version dieser Arbeit.

Literatur

- Alpher, R. A. and Hermann, R. C.: 1949, "Remarks on the evolution of the expanding Universe", *Phys. Rev.*, **Bd. 75**, Seiten 1089-1095.
- Arp, H.: 1987, *Quasars, Redshifts and Controversies*, Interstellar Media, Berkeley.
- Assis, A. K. T.: 1992, "On Hubble's law of redshift, Olbers' paradox and the cosmic background radiation", *Apeiron*, **Bd. 12**, Seiten 10-16.
- Assis, A. K. T.: 1993, "A steady-state cosmology", in: *Progress in New Cosmologies: Beyond the Big Bang*, H. C. Arp, C. R. Keys and K. Rudnicki (eds.), Plenum Press, New York, Seiten 153-167.
- Born, M.: 1954, "On the interpretation of Freundlich's red-shift formula", *Proc. Phys. Soc. A*, **Bd. 67**, Seiten 193-194.
- Born, M.: 1962, *Einstein's Theory of Relativity*, revised ed., Dover Publications, New York.
- Brush, S. G.: 1992, "How cosmology became a science", *Scientific American*, **Bd. 267**, Seiten 62-70.
- de Broglie, L.: 1966, "Sur le déplacement des raies émises par un objet astronomique lointain", *Compt. Rendues l'Acad. Sci. Paris*, **Bd. 263**, Seiten 589-592.
- Eddington, A. S.: 1988a, *The Internal Constitution of the Stars*, Cambridge University Press, Cambridge, Kapitel 13, Seite 371. Reprint of 1926 edition.
- Eddington, A. S.: 1988b, *The Expanding Universe*, Cambridge University Press, Cambridge. Reprint of 1933 edition.
- Finlay-Freundlich, E.: 1954, "Red shifts in the spectra of celestial bodies", *Phil. Mag.*, **Bd. 45**, Seiten 303-319.
- Gamow, G.: 1961, *The Creation of the Universe*, Viking Press, New York, revised edition, Seiten 42-43.
- Penzias, A. A.: 1972, "Cosmology and microwave astronomy", in: *Cosmology, Fusion & Other Matters*, F. Reines (ed.), Colorado Associated University Press, Boulder, Seiten 29-47.
- Penzias, A. A. and Wilson, R. W.: 1965, "A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s", *Astrophys. J.* **Bd. 142**, Seiten 419-421.
- Nernst, W.: 1937, „Weitere Prüfung der Annahme eines stationären Zustandes im Weltall“, *Zeit. Phys.*, **Bd. 106**, Seiten 633-661.
- Reber, G.: 1986, "Intergalactic plasma", *IEEE Trans. on Plasma Sci.*, **Bd. PS-14**, Seiten 678-682.
- Reboul, K. J.: 1981, "Untrivial red shifts: A bibliographical catalogue", *Astron. Astrophys. Supp.*, **ser. 45**, Seiten 129-144.
- Regener, E.: 1933, „Der energiestrom der Ultrastrahlung“, *Zeit. Phys.*, **Bd. 80**, Seiten 666-669.